

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1921-1922. — N° 66

Le
DÉBIT RESPIRATOIRE
dans les Ascensions
en AVION et en MONTAGNE

THÈSE

PRÉSENTÉE

à la FACULTE DE MEDECINE et de PHARMACIE de LYON

et soutenue publiquement le 23 Décembre 1921

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

Fernand MICHEL

né à MONTMÉDY le 9 Mars 1893



LYON

Imprimerie BOSC Frères & RIOU

45, Quai Gailleton, 45

Téléphone 63-56

1921

LE
DÉBIT RESPIRATOIRE
DANS
LES ASCENSIONS EN AVION
ET EN MONTAGNE

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1921-1922. — N° 66

Le
DÉBIT RESPIRATOIRE
dans les Ascensions
en AVION et en MONTAGNE

THÈSE

PRÉSENTÉE

à la FACULTE DE MEDECINE et de PHARMACIE de LYON

et soutenue publiquement le 23 Décembre 1921

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

Fernand MICHEL

né à MONTMÉDY LE 9 MARS 1893



LYON

Imprimerie BOSC Frères & RIOU

45, Quai Gailleton, 45

Téléphone 63-56

—
1921

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyen honoraire
 Assesseur
 Doyen

M. HUGOUNENQ.
 MM. J. LEPINE.
 ROQUE.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, CAZENEUVE, BEAUVISAGE, LACASSAGNE, TESTUT,

	PROFESSEURS	MM.	TESSIER
Cliniques médicales			ROQUE
Cliniques chirurgicales			BARD
			TIXIER
			BERARD
Clinique obstétricale et Accouchements			X
Clinique ophtalmologique			ROLLET
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques			NICOLAS
Clinique neurologique et psychiatrique			LEPINE (J.)
Clinique des maladies des enfants			WELL
Clinique des maladies des femmes			POLOSSON (A.)
Clinique d'oto-rhino-laryngologie			LANNOIS
Clinique des maladies des voies urinaires			ROCHET
Clinique chirurgicale des maladies des enfants			N-JOSSERAND
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie			CLUZET
Chimie biologique			HUGOUNENQ
Chimie organique et Toxicologie.			MOHEL
Matière médicale et Botanique			MOREAU
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.			GUIART
Anatomie			LATARJET
Anatomie générale et Histologie			POLICARD
Physiologie.			DOYON
Pathologie interne			COLLET
Pathologie et Thérapeutiques générales			MOURIQUAND
Anatomie pathologique			PAVIOT
Médecine opératoire			VILLARD
Médecine expérimentale et comparée			ARLOING (F.)
Médecine légale			Etienne MARTIN
Hygiène.			COURMONT (P.)
Thérapeutique.			PIC
Pharmacologie			FLORENCE

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours de Pathologie externe.....	VALLAS.
— — — Propédeutique de gynécologie.....	CONDAMIN.
— — — Chimie minérale	BARRAL .
— — — Accouchements	COMMANDEUR.
— — — Urologie	GAYET.

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Anatomie topographique	PATEL
Botanique.	BRETIN
Embryologie	HOVELACQUE
Stomatologie.	TELLIER

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
NOGIER	SAVY	HOVELACQUE	ROUBIER
BRETIN	FROMENT	TRILLAT	FAVRE
LERICHE	THEVENOT (L.)	SAKVONAT	MURARD
THEVENOT (Léon)	PIÉRY	FLORENCE	BONNET
TAVERNIER	COT'É	ROCHAIX	GRAVIER, chargé
CADE	DUROUX	CORDIER	des fonctions
GARIN			

M. BAYLE, secrétaire

EXAMINATEURS DE LA THESE

M. ARLOING, *Président* ; M. NICOLAS, *Assesseur* ;

MM. PIÉRY et FAVRE, *Agrégés*

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A LA MÉMOIRE DE MA MÈRE

A MON PÈRE

A l'admirable résignation parmi tant de
cruelles épreuves, pour son inépuisable
bonté et son amour sans borne,
en témoignage d'inaltérable affection
et d'infinie reconnaissance.

A MA SŒUR

A MA FAMILLE

A NOTRE AMI LE DOCTEUR POIRIER

En gage d'estime et de vieille amitié
sincère.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR F. ARLOING

Professeur de Médecine expérimentale
Chevalier de la Légion d'Honneur

En témoignage de reconnaissance pour
l'amabilité avec laquelle il nous
reçut et pour le très grand honneur
qu'il nous fait en acceptant la
présidence de cette thèse.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR TEISSIER

Professeur de Clinique médicale
Commandeur de la Légion d'Honneur

En hommage respectueux.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR PIÉRY

Professeur agrégé
Chevalier de la Légion d'Honneur

Qui, après nous avoir suggéré l'idée de
ce travail, ne nous a ménagé ni ses
conseils, ni son appui ; avec l'expres-
sion de nos vifs remerciements et de
notre profonde reconnaissance.

A NOS JUCES

A NOS MAÎTRES
DES FACULTÉS DE NANCY ET DE LYON

LE
DÉBIT RESPIRATOIRE
DANS
LES ASCENSIONS EN AVION
ET EN MONTAGNE

AVANT-PROPOS

Notre spécialisation, bien illusoire, nous a tenu éloigné pendant la guerre, de toute participation effective, dans les sections combattantes de la V^e arme.

Notre tempérament de sportif et de Lorrain nous y portait cependant irrésistiblement. La réalisation de notre désir ne fut jamais qu'incomplète et tardive. Ce n'est qu'après l'armistice, malgré des demandes antérieures réitérées, qu'il nous fut donné de prendre contact avec l'aviation militaire. Le champ n'était plus ouvert alors qu'à des travaux pacifiques.

A l'heure de notre thèse, M. le Professeur Piéry nous suggère l'idée d'étudier les variations du débit respiratoire en avion. Avec son amabilité coutumière M. le Professeur Piéry intervient auprès de M. le commandant Benoît, commandant le 35^e régiment d'aviation, et tous deux s'ef-

forcent avec rapidité et succès, d'aplanir les difficultés matérielles que soulevèrent ces recherches. C'est un devoir agréable pour nous, de les assurer de notre reconnaissance et de leur exprimer nos remerciements les plus vifs, pour nous avoir rendu possible l'exécution de notre tâche.

Nos remerciements s'adressent également aux pilotes du 35^e régiment d'aviation de Bron, qui ont su nous rendre facile autant que plaisant, notre modeste travail.

Notre sympathie s'affirme encore envers notre compatriote et ami Paillier et notre merci lui est renouvelé : alors que se livrant à des recherches sur les variations de durée dans le sang aux différentes altitudes, il se ponctionnait seul les veines à plus de 6.800 mètres, avec le même courage calme qui l'imposait déjà à notre admiration pendant la guerre, il nous consignait les mesures de son débit respiratoire, prenant ainsi une part à notre étude.

INTRODUCTION

Le médecin chargé de veiller à l'état de santé des pilotes ou préposé à examiner les candidats au pilotage, soit dans l'aviation commerciale, soit dans l'aviation militaire, doit exiger de l'individu qu'il présente un certain nombre de qualités physiques dont la recherche est souvent difficile.

Nombre de moyens techniques ou d'appareils de contrôle sont déjà à sa disposition. En particulier pour l'examen du poumon, il a recours successivement à :

1° L'ampliométrie thoracique en inspiration et en expiration avec mesure différentielle ;

2° la capacité vitale au spiromètre ;

3° la pression inspiratoire et expiratoire au pneumomètre de Pachon ou par l'élévation d'une colonne de mercure ;

4° la suspension respiratoire ;

5° la tenue respiratoire sous pression de 40 mm de Hg.

Toutes ces mesures accompagnées de l'examen clinique habituel donnent une idée du fonctionnement respiratoire du candidat (Dr Béhague).

Il est encore une méthode, qui sans vouloir en remplacer aucune, semble au contraire devoir les compléter tou-

tes. Elle s'impose par sa simplicité et son utilité : la recherche de la valeur fonctionnelle du poumon avec l'appareil de Pech. Déjà le masque manométrique de Pech est d'un usage courant en clinique. Déjà aussi, selon Desfosses, « il est appelé à jouer dans le contrôle médical de l'éducation physique, un rôle aussi large pour l'étude de la respiration que l'oscillomètre de Pachon pour l'étude de la circulation. »

A terre, il permet au médecin d'étudier le régime fonctionnel d'un individu. Il lui permet également de s'assurer si à l'altitude il y a adaptation fonctionnelle normale ou anormale en étudiant comparativement la réaction manifestée par son sujet et les variations du débit respiratoire maximum enregistré par un individu sain.

Jusqu'ici, des expérimentateurs, soit en ballon (Soubiès), soit au Mont-Blanc (Vallot, Küss, Guillemard et Moog) ont établi que le débit respiratoire variait avec l'altitude, et ont donné le sens de ces variations. Nous avons retrouvé, en montagne des variations analogues en employant une méthode bien différente.

Nous avons utilisé le masque manométrique de Pech, soit dans nos escalades en montagne, soit dans nos vols, en avion.

C'est à l'aide de cette méthode nouvelle que nous avons entrepris :

1° De vérifier les résultats antérieurs des auteurs touchant le débit respiratoire dans les ascensions en montagne ;

2° d'établir, ce qui n'avait pas été fait jusqu'ici avant nous, le débit respiratoire aux différentes altitudes atteintes en avion.

C'est au centre d'aviation de Bron que nous avons effectué les vols que nous rapportons dans le chapitre de l'étude du débit respiratoire en avion. Nous avons expérimenté sur nous-même et sur nos camarades c'est-à-dire uniquement chez des sujets sains.

Nous aurions voulu suivre également la diminution du débit respiratoire chez des pulmonaires, des emphysémateux en particulier, afin de fixer expérimentalement ce que Ferry, Maublanc et Ratie, ont déjà observé : l'insuffisance fonctionnelle pathologique de ces individus est nettement exagéré par le vol à l'altitude.

Malheureusement des conditions atmosphériques contraires et prolongées ne nous ont pas permis de poursuivre nos essais, et pressé par le temps, nous avons dû, à notre grand regret, interrompre ce travail incomplet. C'est autant pour nous en excuser que pour signaler l'intérêt de ces recherches, que nous en faisons part ici.

L'exposé des résultats obtenus fera l'objet de notre travail. Après avoir rapporté la notion du débit respiratoire et sa mesure, résumé succinctement les travaux ayant trait aux recherches sur le débit respiratoire en ballon, en montagne, nous examinerons successivement les variations du débit respiratoire au cours des escalades en montagne, et au cours des ascensions en avions, pour nous efforcer d'en tirer des conclusions pratiques.

CHAPITRE I

Le débit respiratoire et sa mesure avec le masque manométrique du Professeur Pech.

I. — *Le débit respiratoire.*

L'homme a besoin d'oxygène pour vivre. La respiration est la fonction qui lui sert cet aliment indispensable. La respiration comporte des phénomènes physiques et des phénomènes chimiques, les premiers sont, dit Gley, la condition de l'apport de l'air ; les derniers sont le résultat.

Les besoins organiques établissent un taux d'échange et un rythme d'apport, variables avec les conditions physiologiques et les dépenses organiques.

On a cherché à fixer quelles étaient les ressources fonctionnelles normales du poumon. Certains auteurs s'attachent à établir, jusqu'à quelles limites le poumon, pour répondre aux nécessités organiques, peut emmagasiner utilement l'air. C'est l'étude de la capacité vitale avec Hutchinson, d'où naît la spirométrie.

Mais on se rend compte que le volume absolu d'air inhalé a moins d'importance que les modifications de la ventilation pulmonaire. Au point de vue fonctionnel, dit

Pech, un appareil respiratoire ayant un débit de 1 litre 500 à la seconde et une capacité de 4 litres est supérieur à un appareil ayant la même capacité mais n'ayant qu'un débit maximum de 1 litre à la seconde, et ce débit dont Pech fait mention est l'expression du volume d'air ventilé en un temps donné. Le volume est cubé en litres, le temps est rapporté à la seconde.

Avec Bergeon et Kastus se précise la notion du débit respiratoire et sa recherche, c'est-à-dire la représentation du mouvement réel de l'air dans l'appareil respiratoire, la circulation de cet air étant le principal phénomène physique de la respiration.

L'air circulant à un certain débit entretient donc la fonction respiratoire : jusqu'à quelle limite, la circulation pourra-t-elle s'intensifier pour répondre à un appel fonctionnel de l'organisme ?

Gley, écrit : « Le débit respiratoire maximum, ou en d'autres termes, le plus haut débit respiratoire instantané que peut assurer l'homme et qui paraît fixe, se maintient aux environs de 1 lit. 750 à la seconde. Ce débit maximum paraît être indépendant des dimensions de la cage thoracique, de la capacité pulmonaire et uniquement en rapport avec les besoins en oxygène de l'homme. »

Cet auteur ajoute :

« Dès maintenant il semble bien que la notion de débit respiratoire maximum constitue la véritable caractéristique fonctionnelle d'un appareil respiratoire. »

II. — *Sa mesure.*

A l'époque où le physiologiste suppose que l'étude de la capacité vitale peut donner une indication exacte de la

valeur fonctionnelle du poumon, il s'efforce de la mesurer par un appareil donnant une indication du volume de l'air ventilé.

Les pneumographes qui enregistrent le développement extérieur de la cavité thoracique, ne donnent pas de résultats précis ; l'ampliation thoracique n'est pas fonction constante du volume d'air inspiré ; les indications sont encore faussées par suite du retentissement sur la cage thoracique de certains mouvements musculaires (Pech).

Les spiromètres qui ne sont que des gazomètres adaptés, sont généralement encombrants et peu sensibles. Ils se prêtent mal à l'inscription des phénomènes, et à leur situation dans le temps. Ils ne donnent d'ailleurs qu'une indication sur le volume global de l'air inhalé (Pech). Ils n'enregistrent guère que le volume d'une seule ou de plusieurs expirations, produites dans des conditions spéciales anormales et difficiles à délimiter et à définir (Gauthier).

La critique de ces appareils établit l'insuffisance de leur technique. Mais la critique avait aussi déjà démontré l'insuffisance du principe, assurant que la capacité pulmonaire qu'ils ont pour rôle de déterminer ne représente pas la valeur fonctionnelle du poumon.

Nous avons déjà relevé dans notre premier paragraphe, qu'il n'y a plus lieu de tenir compte de la capacité vitale, mais bien de la circulation de l'air dans le poumon. « La donnée utile à connaître, dit Gley, au point de vue de l'état de la fonction respiratoire, est la donnée physiologique essentielle, c'est-à-dire le débit de l'air dans l'appareil respiratoire, notion bien différente et autrement importante que celle du volume des poumons, qu'apporte la spiromé-

irie. » Pech rapporte « avoir essayé d'utiliser divers appareils indiquant les mouvements réels de l'air déplacé au cours de la respiration : anapnographe de Bergeon et Kastus, aérodromètre de Marey. » (Pech).

L'anapnographe de Bergeon et Kastus (de Lyon) est en somme un sphygmographe de Marey appliqué sur les courants d'air qui pénètrent dans la poitrine, ou qui s'en échappent à chaque respiration ; il consiste en effet essentiellement en un ressort appliqué sur le courant inspiratoire et le courant expiratoire. Un levier enregistreur muni d'une pointe écrivante, présente à son extrémité opposée une partie élargie, obturant un tube par lequel on respire. Cette partie élargie, feuille d'aluminium excessivement mince et d'une grande légèreté, joue le rôle d'une valve qui maintenue dans l'immobilité verticale par deux ressorts opposés, et d'égale force, se déplace sous l'action de chaque courant respiratoire, entraînant avec elle le levier écrivant, qui traduit sur le papier, par des traits successivement verticaux et horizontaux les mouvements de la valve c'est-à-dire les impressions qu'elle subit. L'expérience montre que ces appareils délicats sont en réalité peu sensibles, facilement influencés par la forme des orifices respiratoires, et fondés sur des principes physiques (planchette anémométrique, et tube de Pitot) ne permettant que des mensurations assez grossières (Pech). »

III. — *Sa mesure par le masque manométrique de Pech.*

Pech imagine son masque manométrique qui est un appareil mesureur de débit. Il est basé sur le principe de l'orifice équivalent (l'orifice équivalent d'un système de conduite étant un orifice en mince paroi, de section telle

que la même dépression y fasse passer pendant le même temps, le même volume d'air que dans le système de conduites) de Daniel Murgue.

« L'instrument se compose d'un masque métallique stérilisable relié à un manomètre. Le masque s'applique exactement sur le visage du sujet à examiner au moyen d'un rebord pneumatique en caoutchouc pouvant être plus ou moins gonflé. Il est maintenu en place par un lien élastique entourant la tête du sujet. Dans ces conditions l'intérieur ne communique avec l'athmosphère qu'au moyen d'un orifice percé dans une mince paroi. Cet orifice est calculé de telle façon qu'il ne peut en aucun cas gêner la respiration du sujet examiné. En arrière de l'orifice et un peu en dessous de son bord inférieur s'ouvre une tubulure que l'on peut relier à un tambour enregistreur de Marey (Pech). » Ce dernier donne les tracés des débits inspiratoire et expiratoire.

Pour rendre cliniquement utilisable son appareil et pour dispenser de recourir à l'inscription d'un pneumogramme, le Professeur Pech, ayant établi que le seul élément vraiment intéressant de la courbe des tracés est l'ordonnée qui, à chaque instant est fonction du débit respiratoire, relie le masque à un manomètre sensible à un millimètre d'eau, aussi bien à la pression qu'à la dépression.

En lisant les chiffres extrêmes atteints par l'indicateur de l'instrument, on a une idée du débit pulmonaire en litres et en fraction de litres à la seconde, du sujet examiné.

En résumé, la spirométrie ou autres méthodes ne donnant qu'une idée approximative de la valeur fonctionnelle du poumon, puisque la spirométrie, entre autre, ne donne

que des indications de volume sans les localiser dans le temps ; qu'au contraire la mensuration du débit pulmonaire indique bien la valeur fonctionnelle d'un appareil respiratoire, nous avons avec l'ingénieux appareil de Pech, qui est un appareil mesureur de débit, l'instrument pratique pour étudier cette valeur fonctionnelle aux différentes altitudes.

Ainsi que l'assure M. le Professeur Pech il est utile de souligner que le masque manométrique d'après son principe (méthode manométrique différentielle de D. Murgue) ne fait point intervenir la pression du lieu d'expérience pas plus d'ailleurs que la température ; l'étalonnage est fait pour des litres d'air mesurés à 15° centigrades, et à la pression de 760 mm de mercure. Quelles que soient les conditions de l'expérience la lecture se fait toujours en litres d'air et à cette pression sans aucune correction.

Nous tenons à insister encore sur l'importance de ces données. Avec cet appareil il n'est point de correction à faire ; une simple lecture renseigne sur la valeur exacte du débit à l'altitude où l'on se trouve, malgré les variations considérables de la pression et des changements énormes de température.

Ainsi que Ferry a pu, entre autres travaux, entreprendre l'étude de la fonction circulatoire au cours des vols en avion, il nous est possible d'aborder l'étude de la fonction respiratoire lors des ascensions, car le masque manométrique de Pech est au poumon ce que l'oscillomètre de Pachon est au cœur.

CHAPITRE II

Débit respiratoire en ballon.

Après les mémorables expériences de Paul-Bert, les recherches de Gaisher, les résultats acquis par nombre de savants, il semble banal à présent, de répéter que l'air se raréfie à mesure que l'on s'éloigne du sol, que la proportion d'oxygène tombe progressivement. Il paraît commun d'écrire encore qu'on a cherché dans ces modifications du milieu extérieur, des raisons capables d'expliquer, au moins partiellement, la pathogénie du mal des ballons, du mal des montagnes, du mal des aviateurs, en somme du mal des altitudes.

Pour établir ce qui est évident aujourd'hui, Hallion et Tissot, encouragés par la Ligue de l'Aéroclub de France, se livrent en 1901, à plusieurs ascensions scientifiques en ballons.

Hallion et Tissot, utilisent la méthode suivante, à bord de l'Eros :

« Ils se servent de sacs en caoutchouc et ils y enferment la totalité de l'air expiré à différents moments de leur ascension. L'air est recueilli d'abord dans une vessie grâ-
ce à l'appareil nasal de Chauveau. Un échantillon est dé-

posé aussitôt sur le mercure, puis on transvase le reste du gaz dans un sac. La température et la pression sont notées et à la descente on mesure le contenu des sacs à cette température et à cette pression (Soubiès).

Tissot appelle :

Débit respiratoire réel, le volume de l'air expiré pendant une minute à 0 degré et à la pression de 760 mm. de mercure ;

Débit respiratoire apparent, le volume de l'air respiré à la température et à la pression du milieu ambiant.

Cet auteur relève les variations suivantes des débits respiratoires réels et apparents à la minute :

Altitude	Débit respiratoire réel	Débit respiratoire apparent
Sol.	9 l. 485	10 l. 140
1.350 mètres. .	7 l. 907	10 l. 830
2.600 mètres. .	5 l. 787	8 l.
3.450 mètres. .	5 l. 675	8 l. 600
Sol.	10 l. 113	10 l. 805

Hallion obtient :

Altitude	Débit respiratoire réel	Débit respiratoire apparent
Sol.	8 l. 633	9 l. 225
1.700 mètres. .	6 l. 947	8 l. 679
3.500 mètres. .	5 l. 680	8 l. 740

Ils concluent que :

1° Le débit respiratoire réel diminue quand l'altitude augmente ;

2° Le débit respiratoire apparent a tendance à diminuer.

Il est certain qu'il n'augmente pas.

Ces auteurs constatent d'ailleurs l'absence de troubles physiologiques jusqu'à 4.000 mètres, l'organisme se défendant facilement contre la faible tension de l'oxygène dans l'air ambiant, en utilisant mieux cet oxygène et en en absorbant une plus grande proportion par les capillaires pulmonaires. (Soubiès).

D'autre part, reprenant les expériences de Paul Bert, Tissot dans sa cloche pneumatique, en se mettant artificiellement dans les conditions de raréfaction de l'air à différentes altitudes, pour contrôler les chiffres de ses ascensions en ballon, recherche au laboratoire, l'action de la décompression sur les échanges respiratoires de l'homme et établit que :

Le débit respiratoire réel diminue comme la pression et suit une courbe analogue à la variation de pression.

Cet auteur vérifie ainsi l'exactitude de ses premiers résultats.

Le ballon est l'appareil d'ascension idéal au point de vue physiologique. Il suffit de lire les descriptions enthousiastes que font les aéronautes de leur voyage, à défaut de pouvoir ascensionner soi-même, pour être gagné par le charme de leurs impressions. Les expériences d'Hallion et Tissot peuvent être considérées comme des essais types, les chiffres donnés pour l'évaluation du débit respiratoire semblant calqués sur les nombres fournis par les variations parallèles de ce même débit dans la cloche à dépression.

Nous n'avons pas cherché à mesurer les variations du débit respiratoire maximum, ni en ballon, ni dans la cloche à dépression. Au dire de M. le Professeur Pech, c'est là cependant qu'on aurait les résultats les plus probants,

car, surtout dans la cloche, il serait possible d'éliminer bien des causes d'erreurs.

Les chiffres indiqués par Hallion et Tissot, bien qu'obtenus par la spirométrie et bien différents de ceux que donneraient l'appareil de Pech, et quoique ne relevant pas d'une même unité de mesure, peuvent cependant, s'ils ne sont pas absolument comparables aux résultats que nous avons relevés par ailleurs, donner une idée assez exacte de la fonction respiratoire, idée qui permet de soutenir la comparaison.

Il serait utile de rechercher avec l'appareil de Pech, les variations de débit en ballon, car elles sont certainement différentes, sinon dans le sens de la variation, mais dans leurs valeurs absolues pour de mêmes altitudes, de celles enregistrées en montagne et en avion, car bien des facteurs influant sur cette variation ne se retrouvent pas dans les mêmes conditions. Ainsi dit Soubiès : « Les expériences réalisées montrent clairement les différences considérables existant entre l'ascension en ballon et l'escalade d'une montagne. Dans le premier cas, la montée est très rapide et se produit sans fatigue. Dans le second il faut tenir compte d'abord du grand effort musculaire »

Il est certain, comme nous le montrerons par la suite, que l'on trouverait des chiffres absolus bien différents, pour de mêmes altitudes.

CHAPITRE III

Débit respiratoire en montagne.

A la suite des travaux de nombreux savants de divers pays ceux de Jourdanet en Amérique, ceux de Vallot, Küss, Guillemard et Moog, en France, il est prouvé et admis que le débit respiratoire varie avec l'altitude, décroissant à mesure que l'altitude augmente.

Guillemard et Moog écrivent : « Tandis que le débit respiratoire apparent augmente notablement au Mont-Blanc, le débit respiratoire réel diminue beaucoup ; on constate de même une augmentation notable du nombre des respirations, coïncidant avec une diminution du volume réel des expirations. Ces résultats se rapprochent de ceux observés par Kuss à l'observatoire des Bosses ».

L'expérimentation se résume en la spirométrie, l'appareil employé par les différents auteurs étant le spiromètre d'Hutchinson plus ou moins modifié.

Bayeux résume et vérifie les travaux antérieurs et énonce la proposition :

1° Le débit respiratoire diminue quand l'altitude augmente.

MOYENNES de VENTILATIONS ABSOLUES

prises à diverses altitudes.

(Mesures obtenues par la spirométrie et indiquant le nombre de litres expirés pendant une minute).

Altitudes	Vallot	Kuss	Guillemard	Bayeux	Moyennes
Plaine 0 m . . .	6,11	5,59	8,14	13,67	8,37
Chamonix 1050 m.	5,42	5,50	7,03	11,60	7,38
Mt-Blanc 4750 m.	4,42	4,04	5,58	8,63	5,66

Ces chiffres sont quelque peu différents, car les mesures sont évidemment variables avec chaque expérimentateur et sa façon de respirer.

Bayeux remédie pratiquement au déficit fonctionnel après avoir établi la deuxième proposition :

2° à toutes les altitudes, l'injection sous-cutanée d'oxygène corrige l'insuffisance progressive du débit respiratoire.

Les injections sous-cutanées d'oxygène ont été pratiquées au moyen de l'oxygénateur de précision de Raoul Bayeux et Jules Richard.

Bayeux utilise pour ses mesures un spiromètre très sensible avec soupape de Tissot. La pression barométrique et la température sont notées à chaque altitude, pour corriger en les ramenant à 0 degré et à 760 m/m de mercure les chiffres spirométriques, sans cette correction, ils n'indiquent que la ventilation pulmonaire relative, et ils ne sont pas comparables. Cette correction étant faite, ils indiquent les ventilations absolues qui, seules, correspondent aux valeurs pondérales de l'oxygène aspiré, quelle que soit l'altitude où on les ait recueillies.

« Le tableau suivant donne les moyennes de chacune de mes cinq séries. Les respirations sont comptées par mi-

nutes. Les débits respiratoires en litres et fractions de litres. Nous utiliseront uniquement le débit par minute, qui varie en fonction des deux autres quantités et qui les résume.

	Paris		Chamonix		Mont-Blanc		Chamonix	
	Années 1919-1920		Avant le Mt-Blanc		Observ. Vallot		Après le Mt-Blanc	
	<i>Oxygène</i>							
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
Respirations.	17	16,6	18,2	16,4	19,8	17,6	18,2	14,4
Débit-unité .	0,79	1,09	0,64	0,85	0,44	0,58	0,99	1,38
Débit-minute	13,43	18,09	11,65	13,94	8,71	10,71	18,02	19,73

Jusqu'ici les auteurs, en employant le spiromètre, s'étaient attachés à fixer la valeur du déficit en un point, au repos, ainsi qu'en témoigne le premier tableau.

Il restait intéressant de suivre progressivement la diminution croissante du débit respiratoire au cours même des escalades, ce qui n'était guère réalisable avec des appareils aussi encombrants que les spiromètres, mais devenait possible avec le masque manométrique de Pech.

Cependant Valot, en fixant un spiromètre sur le dos d'un porteur qui le précédait, avait pu mesurer son propre débit, mais il se contenta de l'enregistrer à une même altitude au moment de l'effort. Cet auteur établit d'ailleurs ce fait que nous avons vérifié également :

« La ventilation pulmonaire en marche, en gravissant une pente assez rapide pour être essoufflé, monte à presque le double de ce qu'elle est au repos. Cette augmentation est due à l'augmentation de la profondeur des respirations »

Comme nous allons l'indiquer, on retrouvera dans nos résultats, les mesures du débit respiratoire au moment

de l'effort, que nous avons enregistré durant tout le temps de nos escalades, à la montée comme à la descente. Nous savions, d'ailleurs que l'appareil de Pech nous donnerait des mesures spéciales du débit au moment de l'effort, car Pech a prouvé que le débit respiratoire enregistré par son masque manométrique est influencé par tous genres d'efforts, soit musculaire, soit même cérébral. Ce n'est donc qu'une application particulière du principe que l'effort augmente le débit respiratoire.

Il restait à suivre les variations du débit respiratoire à chaque nouvelle altitude atteinte, alors que, quelques minutes écoulées, la respiration n'avait plus à subir l'effet direct de l'effort. C'est ce but que nous nous sommes proposés d'atteindre en gravissant les pentes des Alpes.

Nous nous sommes livrés à plusieurs ascensions dans la région de Chamonix. Nous nous sommes limités à des altitudes moyennes, peut-être parce que peu rompus à ce genre de sport, nos moyens physiques étaient limités, mais surtout parce que nous obtenions déjà des résultats suffisamment probants, aux différents sites auxquels nous nous sommes élevés.

Les faits les plus contradictoires ont été rapportés sur les conséquences de la variation du débit respiratoire dans les escalades en montagnes. Des ascensionnistes, d'honnêteté scientifique au-dessus de tout soupçon donnent des observations les plus dissemblables.

Saussure se plaint de l'essoufflement qui oblige à s'arrêter au bout de quelques pas et qui s'accroît à mesure que les ascensionnistes approchent du sommet. La respiration devient fréquente, pénible, anxieuse (Soubies). Saussure éprouvait une gêne respiratoire intense. Faut-il la

mettre sur le compte exclusif de la diminution du débit respiratoire ? N'y a-t-il lieu d'invoquer pour une large part la fatigue du moment et les pénibles influences du climat de ces lieux ? Mais la fatigue n'influe-t-elle pas aussi sur les variations du débit respiratoire ?

Car fatigue doit être prise dans le sens large que lui accorde Paul Bert : Non seulement le résultat des contractions musculaires exagérées, le surmenage du cœur, mais encore l'influence d'autres causes épuisantes : insomnies, manque de repos, de confort, alimentation défectueuse.....

A des altitudes plus élevées où le débit respiratoire était moindre qu'au Mont-Blanc, d'autres ascensionnistes n'ont pas constaté les mêmes troubles :

« En 1909, le duc des Abruzzes s'est adjugé le record de l'ascension en montagne en atteignant 7380 mètres sur un versant du Bride Pack dans le Karakoram. Le royal alpiniste a été arrêté, non point par l'essoufflement, mais par la brume qui enveloppait la route très dangereuse que sa caravane devait suivre pour atteindre ensuite le sommet. La petite troupe ne battit en retraite qu'après avoir attendu une éclaircie pendant deux heures. Durant cette halte, ni le duc, ni les trois guides des Alpes qui l'accompagnaient n'éprouvèrent aucune gêne de la respiration. Au cours de leur escalade, ils n'avaient éprouvé non plus aucun essoufflement, sauf en gravissant les derniers mètres à travers des rochers escarpés. » (Charles Rabot)

Il faut faire une part à l'acclimatement progressif aux hautes altitudes après escalades, car il y a une augmentation régulière, qui pour être faible, est néanmoins réelle, du débit respiratoire dans les jours suivants (Vallot). Il faut donc considérer le temps mis à effectuer l'ascension complète.

« Si des ascensions moyennes ou rapides, comme l'a écrit Vallot, n'ont produit, en général, aucun changement dans la capacité thoracique, les grandes ascensions ont toujours produit une diminution ». Mais cette diminution est pour nous, qui l'avons contrôlée, variable avec chaque individu, et la diminution du débit, c'est-à-dire de la capacité envisagée par Vallot, comptée en litres et ramenée à l'unité de temps, est sensible dans toutes les escalades ou moyennes ou grandes.

Puis il faut souligner que ces intrépides ascensionnistes étaient ou des professionnels ou des amateurs très entraînés, donc adaptés à ce genre de sport, et leur débit respiratoire, tout en décroissant régulièrement, devait baisser plus lentement que chez des individus non spécialisés.

Nous avons comme compagnon d'ascension un sujet sans aucun entraînement spécial, ni sans grande résistance physique, à tel point qu'il dût renoncer au bout de quelques jours, à nous suivre plus longtemps.

Nous avons constaté chez ce sujet que son débit respiratoire diminuait beaucoup plus rapidement que chez nous, quoique au départ, il fût pour le moins égal au nôtre. C'est ainsi qu'en gravissant assez rapidement de 1.000 à 1.500 mètres, le débit inspiratoire passe de 2 litres 250 à 1 litre 300, et le débit expiratoire tombe de 1 litre 300 à 1 litre (évaluations au repos), alors que les nôtres sont respectivement descendus de 1 litre 800 à 1 litre 300 et de 1 litre 300 à 1 litre 200.

Nous avons remarqué, d'autre part, que la diminution du débit est d'autant moindre que le travail effectué est moindre également. Nous nous sommes élevés à de mêmes altitudes par des moyens différents. Lorsque nous mon-

tions en funiculaire, la diminution du débit, quoique bien réelle, était assez peu marquée. Ainsi, pour une différence de niveau de 900 mètres, le débit inspiratoire passait de 1 litre 800 à 1 litre 600, le débit expiratoire de 1 litre 500 à 1 litre 300, alors que, pour de mêmes différences de niveau, à de mêmes altitudes, dans de mêmes conditions physiologiques, pour des ascensions faites à pied, nous obtenions une diminution du débit inspiratoire allant de 1 litre 800 à 1 litre 300 et du débit expiratoire de 1 litre 500 à 1 litre 100.

Ceci nous permet de constater l'influence très marquée de la fatigue sur le débit respiratoire. Cette influence est surtout manifeste chez les individus peu entraînés, sur le débit inspiratoire qui baisse rapidement, alors que les inspirations deviennent courtes, superficielles, mais plus rapides. Cette observation corrobore l'apparition du mal des montagnes à différentes altitudes. Il est évident que la fatigue, variant d'intensité suivant les différentes formes de l'effort, trouvant une résistance organique différente suivant la constitution propre à chaque individu et son état d'entraînement, c'est-à-dire d'adaptation fonctionnelle, ne peut produire ses effets par la déficience physique qu'elle entraîne qu'à des altitudes différentes, chez des ascensionnistes différents.

Nous ne nous sommes pas contentés d'observer la variation du débit à la montée, mais nous l'avons suivie à la descente, soit au moment de l'effort, soit quand le calme s'était rétabli. Nos mesures sont consignées dans le tableau qui suit. Il était intéressant, en effet, de contrôler de quelle façon l'organisme se comportait à la descente.

En tenant compte des faibles écarts possibles que peut

donner la lecture du débit à l'appareil de Pech, nous avons trouvé à la descente, aux mêmes points, les mêmes indications des débits inspiratoires et expiratoires.

Vallot avait déjà montré que le retour à la normale est immédiat à la descente. Nos résultats concordent pleinement. Mais alors que devient l'influence de la fatigue à ce moment ? C'est un problème qui ne nous est pas donné d'élucider, mais qui nous surprend.

Le lecteur voudra bien nous excuser de ne pas lui transcrire, sur plusieurs feuillets, les chiffres obtenus au cours de nos escalades et fixant les variations du débit respiratoire. Nous nous contentons seulement de relever les moyennes que nous avons tirées de cinq observations personnelles et d'en fixer la courbe représentative.

Lors de nos escalades, dès notre arrivée en un point quelconque, encore sous le coup de la montée ou de la descente de rapidité variable, plus ou moins essoufflé, avec une respiration plus courte et plus superficielle parfois, un pouls rapide, le corps souvent las, nous nous adaptons le masque dès le début de la pause et relevons les indications du manomètre. Ces indications sont nettement influencées par les effets organiques de l'énergie dépensée lors du travail fourni jusqu'alors. Nous mentionnons ces mesures sous le terme *effort*, soit à la descente, soit à la montée.

Au contraire, quelques instants après, temps variable avec l'altitude, le travail accompli jusque là et la réaction individuelle, quand le pouls s'est ralenti, que la respiration a repris son rythme normal, quand le corps semble se retrouver dans ses conditions physiologiques habituelles ; que, suivant l'expression courante, l'on se sent reposé, nous reprenons à nouveau la mesure du débit et

nous l'enregistrons dans la colonne : *calme*, considérant qu'à ce moment, l'organisme n'est plus sous l'influence directe de l'effort.

Niv. de la mer	MONTÉE				DESCENTE			
	Effort		Calme		Effort		Calme	
	Débit insp.	Débit exp.	Débit insp.	Débit exp.	Débit insp.	Débit exp.	Débit insp.	Débit exp.
	litres	litres	litres	litres	litres	litres	litres	litres
1050m.	—	—	1,900	1,600	—	—	1,900	1,600
1200m.	1,800	1,500	1,650	1,350	1,800	1,500	1,650	1,350
1500m.	1,800	1,600	1,500	1,250	1,700	1,500	1,500	1,250
1600m.	—	—	1,450	1,200	1,700	1,400	1,450	1,200
1700m.	1,800	1,400	1,400	1,150	1,700	1,400	1,400	1,150
1900m.	1,800	1,400	1,350	1,100	1,700	1,400	1,350	1,100
2000m.	1,800	1,400	1,300	1,050	—	—	1,300	1,050
2100m.	1,800	1,400	1,250	1,050	1,700	1,400	1,250	1,050
2200m.	1,750	1,400	1,250	1,050	1,650	1,300	1,250	1,050
2350m.	1,700	1,300	1,200	1,005	1,600	1,300	1,200	1,000
2500m.	1,700	1,300	1,100	0,900	—	—	1,100	0,900

C'est à l'aide des chiffres précédents que nous avons pu construire le graphique suivant. Nous avons porté en ordonnées le débit respiratoire maximum exprimé en litres-seconde ; en abscisses l'altitude en mètres. Le débit expiratoire pris lors du repos organique figure en trait plein ; le débit inspiratoire dans ces mêmes conditions est en traits discontinus. Le débit inspiratoire influencé par l'effort est représenté en traits-points et le débit expiratoire en croix.

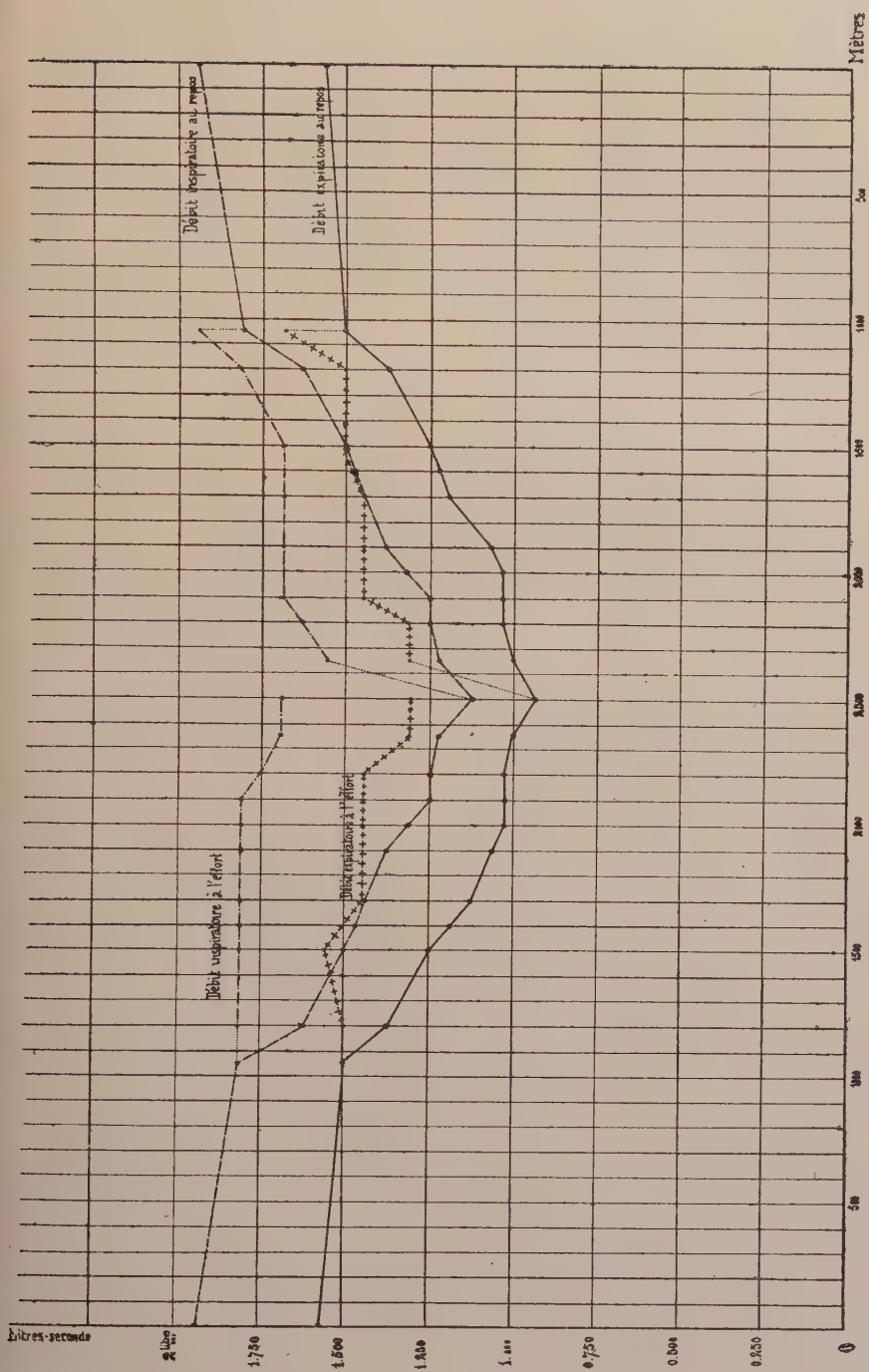


Schéma des variations du débit respiratoire en montagne.

En somme, si toutes les observations rapportées jusqu'ici mentionnent ou négligent les troubles respiratoires éprouvés par les ascensionnistes, toutes, cependant, s'accordent sur ce point, érigé en loi :

En montagne, le débit respiratoire diminue à mesure que l'altitude augmente.

D'après nos très précises observations, nous pouvons conclure :

Dans les escalades en montagne :

1° Le débit respiratoire maximum décroît à mesure que l'altitude augmente, les débits inspiratoire et expiratoire suivant une diminution parallèle ;

2° Cette décroissance constante est influencée par la résistance physique du sujet et son coefficient d'adaptation ;

3° Cette diminution est d'autant plus marquée, pour une même altitude, que le travail à fournir pour y parvenir est plus grand ;

4° L'effort a une action très prononcée sur les variations du débit, pouvant le maintenir pendant presque toute la durée de l'escalade sensiblement égal à sa valeur en plaine ;

5° Le débit respiratoire va croissant à la descente, sa valeur redevenant ce qu'elle était à la montée, aux mêmes altitudes.

CHAPITRE IV

Débit respiratoire en avion.

L'étude des modifications apportées au fonctionnement de l'appareil respiratoire au cours des vols en avion, a fait jusqu'ici l'objet de quelques recherches. Ferry, avec sa compétence spéciale remarquable en matière d'aviation, a traité, à plusieurs reprises, durant ces dernières années, de l'influence de l'ascension sur l'appareil pulmonaire. Mais l'auteur analyse surtout des *sensations subjectives* et les précise dans les trois temps de l'ascension.

A la montée, Ferry éprouve une difficulté inspiratoire croissante, associée à une expiration plus aisée dans l'air raréfié. Ces différentes sensations semblent s'atténuer dans le vol horizontal à l'altitude maxima atteinte. Toutefois, lorsque survient un incident quelconque, remous ou exercices divers, de suite réapparaissent, parmi d'autres, de légers troubles respiratoires.

A la descente, la respiration retrouve progressivement son rythme normal.

Ferry situe la gêne respiratoire qu'il a éprouvée à l'altitude constante de 1.800 mètres, quelle que soit la rapidité

de la montée. Il ajoute que la gêne est manifeste à l'inspiration qui devient courte, faible, difficile, inspiration que l'on se sent obligé d'approfondir de temps en temps. L'expiration, qui se fait dans un air de moins en moins dense, se trouve, au contraire, facilitée.

D'après Ferry, la respiration s'accélère donc à mesure que l'on s'élève.

Pour Cruchet et Moulinier, la respiration devient plus courte, dans la montée, aux environs de 1.500 mètres, par conséquent à une hauteur moindre qu'avec les ballons, ajoutent-ils. Vers 2.000 mètres, la respiration est plus rapide, mais surtout à 4.500 et 5.000 mètres. C'est le phénomène le plus gênant.

Castex assure également que la respiration devient plus rapide vers 2.000 mètres et s'accélère à mesure que l'on atteint de plus hautes altitudes. Cette accélération, se traduisant, à 5.000 mètres, par un véritable essoufflement, résulte d'une gêne respiratoire.

Malgré la notoriété évidente de Ferry en la matière, nous ne pouvons partager son opinion. Sur des sujets non prévenus, notre camarade Paillier et nous, avons, à plusieurs reprises, compté le nombre des mouvements respiratoires à la minute. *A 5.000 mètres, ce nombre était de 18 presque invariablement.* Aux altitudes inférieures, le chiffre restait le même qu'à terre.

Durant nos ascensions, nous avons constamment trouvé, dès que nous commençons à prendre de l'altitude et jusqu'à 5.000 mètres au moins, une ampliation progressive de la cage thoracique, indice de l'amplitude plus marquée des mouvements respiratoires, sans accélération de rythme.

Ferry situe le commencement des troubles respiratoires

à 1.800 mètres, alors que les aéronautes les relatent à 4.000 mètres. Sans accepter leur apparition à une altitude aussi basse, il paraît logique que les troubles respiratoires apparaissent plus tôt en avion qu'en ballon. Car, en dehors de la raréfaction de l'air, le facteur fatigue, qui influe si profondément sur la diminution du débit respiratoire, comme nous l'avons relaté dans les escalades en montagne, garde son importance dans le vol. En avion, si la fatigue musculaire est restreinte, la tension nerveuse est énorme (Ferry). La vitesse de déplacement de l'avion, le courant d'air de l'hélice, le refroidissement souvent très marqué, surtout pour le passager, les vibrations de l'appareil dûes au moteur et au vent, le bruit intense, (tant de sensations brutales qui diffèrent tant du calme éprouvé en ballon), sont autant de facteurs affaiblissant l'organisme et montrant l'écart qui existe entre deux ascensions, aux mêmes altitudes, soit en ballon, soit en avion. Ce qui déjà doit faire pressentir que le débit respiratoire doit diminuer plus rapidement en avion qu'en ballon, mais, en revanche, se maintenir plus élevé au cours des vols en avion qu'au cours des escalades en montagne.

En recherchant dans la littérature médicale la plus récente, il n'est guère possible, croyons-nous, de trouver des observations de mesure du débit respiratoire aux différentes altitudes, en avion.

Cependant, cette étude a son intérêt.

« Au point de vue de l'aviation, disent Maublanc et Ratié, l'intérêt de la spirométrie n'est pas douteux. Aux altitudes élevées, par suite de la diminution de la quantité d'oxygène contenue dans un volume d'air donné, du fait de la diminution de la pression, les mouvements respi-

ratoires deviennent plus fréquents pour suppléer à l'appauvrissement en oxygène. La fréquence de ces mouvements sera encore accrue chez un individu dont la capacité pulmonaire sera inférieure à la normale, et la gêne respiratoire se fera très rapidement sentir chez lui ».

Mais il s'agit de spirométrie à terre, d'une mesure imparfaite de la valeur fonctionnelle du poumon au sol. Il semblait utile de la rechercher lors des ascensions en avion et de suivre les modifications apportées au débit respiratoire, en les relatant progressivement ; d'autant que, nous l'avons observé contrairement aux auteurs, il n'y a pas accélération des mouvements respiratoires à l'altitude mentionnée ordinairement.

En établissant les variations du débit respiratoire aux différentes altitudes chez un individu normal, il devient facile par la suite d'étudier la courbe de réaction d'un sujet examiné, d'établir une comparaison utile, et de conclure ou non à l'aptitude du candidat à respirer aux hautes altitudes.

Cet examen est aussi simple que précis avec l'appareil de Pech, au cours d'une ascension en avion. Nous nous sommes servis de cet instrument en nous mettant autant que possible à l'abri de petites erreurs ; éviter le vif courant d'air dû au déplacement de l'avion et au remous de l'hélice ; isoler le manomètre de l'avion pour que les trépidations dues au moteur ne gênent en rien les oscillations de l'aiguille.

Comme nous l'avons déjà fait pour les variations du débit respiratoire en montagne, nous consignerons seulement les moyennes de nos résultats, pour ne pas allonger inutilement ce compte-rendu.

Nos ascensions ont été suffisamment nombreuses pour nous permettre de relever l'influence possible sur le débit respiratoire, soit de la vitesse d'ascension ou de descente, soit la durée du vol, soit le vol à l'horizontale.

Nous relevons, parmi les plus importantes, quelques-unes des ascensions que nous avons pratiquées, dans le but d'établir les variations du débit respiratoire :

Les 23 et 30 juin, piloté par le maréchal-des-logis X..., sur biplace Salmson, ascensions aux altitudes maxima respectives de 3.000 et 3.500 mètres. Durée de chaque vol : une heure.

Le 7 juillet, sur Salmson, piloté par le capitaine Lefèvre, altitude atteinte : 4.000 mètres ; durée totale du vol : 1 heure 15.

Le 14 juillet, sur Salmson, piloté par le capitaine Lefèvre, altitude : 4.000 mètres ; temps de la montée : 1 heure ; temps de la descente : 45 minutes.

Le 18 juillet, sur Salmson, piloté par le capitaine Lefèvre, altitude : 5.200 mètres ; temps de la montée : 1 heure ; temps de la descente : 45 minutes.

Le 20 juillet, sur Salmson, piloté par le lieutenant X..., altitude : 3.200 mètres ; durée totale du vol : 1 heure 30.

Le 22 juillet, sur Bréguet, piloté par l'adjudant Musard, altitude : 6.000 mètres ; temps de la montée : 1 heure 10 ; temps de la descente : 10 minutes.

Le 23 juillet, sur Salmson, piloté par le lieutenant X..., altitude : 4.800 mètres ; durée totale du vol : 2 heures 15 minutes.

Nos ascensions ont été réalisées, soit lentement, soit assez rapidement, à la montée et à la descente. Un jour même, une panne, propice pour nous, imposa une descente

rapide de moins de 10 minutes pour atterrir de 4.000 mètres.

Nous avons vérifié que *le temps employé pour la montée ou la descente n'influe en rien sur la variation du débit respiratoire*. Cette variation est immédiate.

La durée du vol n'apporte pas de modifications sensibles à la variation du débit. Les chiffres donnés par l'appareil de Pech n'étaient pas différents entre un vol d'une demi-heure ou un vol de plus de deux heures. Mais nous nous hâtons de dire **que** nous n'avons pas fait de longs vols, et nous n'avons pu constater si la grande fatigue qui ne manquerait pas de s'établir, ferait varier nettement le débit.

Le chiffre *du débit restait invariable pendant le vol à l'horizontale*, que nous n'avons pas, non plus, beaucoup prolongé.

A différentes reprises, nous nous sommes trouvés deux passagers dans la carlingue d'un biplace Salmson, l'un assis sur les genoux de l'autre. Dans cet espace, quelque peu exigü, où nous étions encore limités dans nos mouvements par le dispositif que demandait notre expérimentation, la respiration était un peu troublée chez le passager qui soutenait l'autre, sa cage thoracique étant fatalement comprimée. Aussi nous avons cru bien faire de ne pas tenir compte des résultats enregistrés, la variation portant plus cependant sur le rythme respiratoire, qui s'exagérait, que sur le débit respiratoire recherché.

Nous avons mentionné *la valeur fonctionnelle du poumon aux différentes altitudes*. L'étude de cette courbe représentative nous permettra de la mieux fixer. Voyons d'abord la moyenne des chiffres obtenus sur nous-même.

SUJET I

Altitudes	MONTÉE		DESCENTE	
	Débit inspiratoire	Débit expiratoire	Débit inspiratoire	Débit expiratoire
	litres	litres	litres	litres
Sol	1,900	1,650	1,900	1,650
500 mètres.	1,850	1,650	1,850	1,600
1000 —	1,800	1,600	1,850	1,600
1500 —	1,750	1,400	1,800	1,550
2000 —	1,700	1,300	1,800	1,500
2500 —	1,600	1,200	1,750	1,400
3000 —	1,750	1,300	1,650	1,300
3500 —	1,600	1,200	1,600	1,200
4000 —	1,500	1,100	1,550	1,150
4500 —	1,500	1,000	1,500	1,000
5000 —	1,200	0,900	1,200	0,900

Les valeurs du débit respiratoire sont indiquées en litres-seconde.

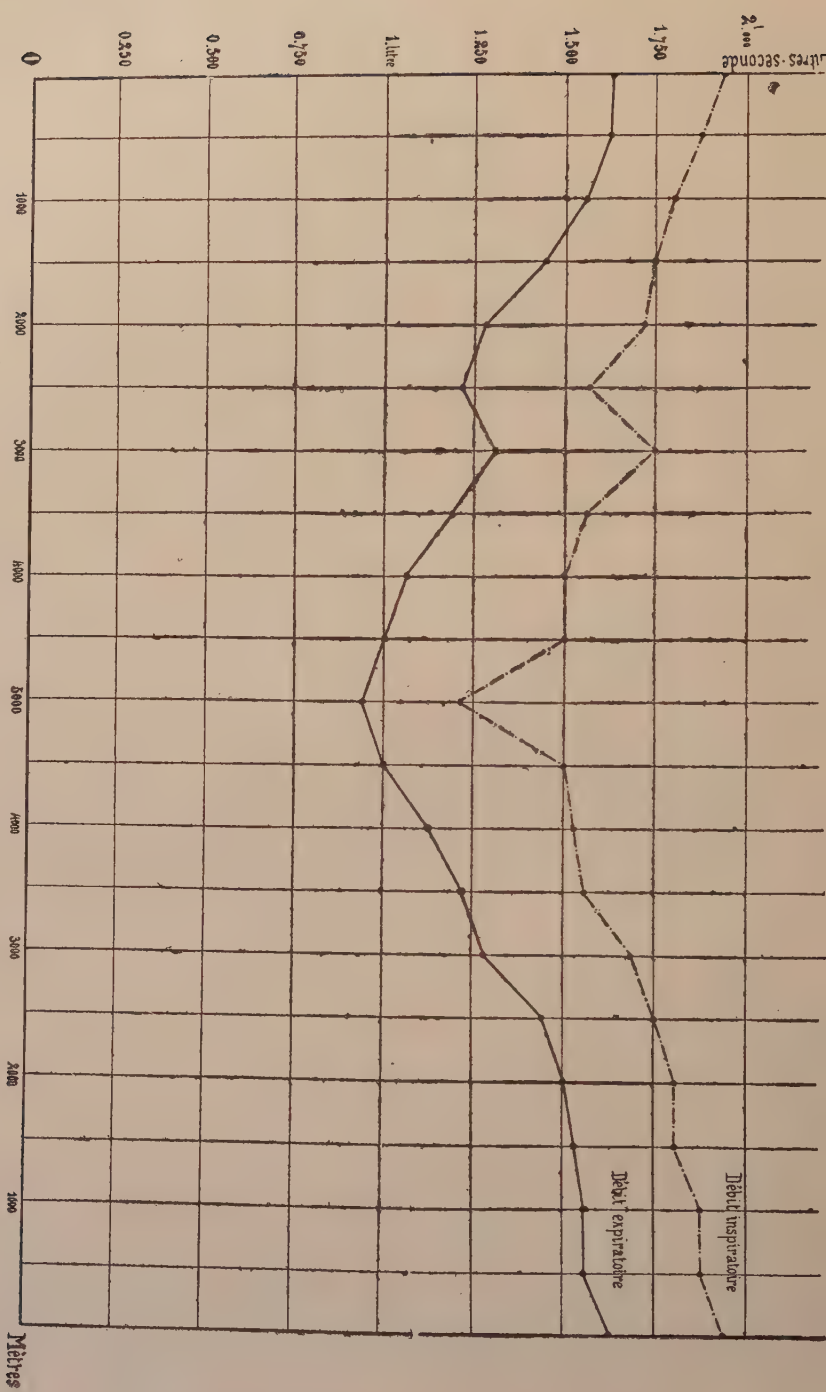
Le graphique qui suit a été établi d'après les données ci-dessus.

En ordonnées figure la mesure du débit respiratoire maximum en litres secoude.

En abcisses l'altitude.

Le débit inspiratoire est représenté en traits-points.

Le débit expiratoire est inscrit en trait plein.



Sujet I. — Schéma des variations du débit respiratoire en avion.

La lecture de la courbe représentative des variations du débit respiratoire aux différentes altitudes en avion, montre que :

1° Le débit respiratoire maximum diminue à mesure que l'altitude augmente, les variations du débit inspiratoire et du débit expiratoire étant parallèles ;

2° La variation du débit s'établit immédiatement à l'altitude atteinte ;

3° La rapidité ou la lenteur du vol ascensionnel n'influe en rien sur les variations du débit ;

4° A 3.000 mètres, en moyenne, les deux courbes enregistrent, à la montée, une augmentation des débits inspiratoire et expiratoire, qui les porte à une valeur facilement égale à celle d'une altitude de 1.000 mètres inférieure. C'est là l'indice, croyons-nous, du début de réaction de l'organisme, qui commence à augmenter sa capacité respiratoire par une amplitude plus marquée des mouvements sans augmentation de nombre, pour faire face utilement aux difficultés créées par les variations de composition du milieu extérieur.

En aucun cas, le début de la réaction fonctionnelle n'a été inférieur à 2.500 mètres ;

5° A la descente, l'adaptation fonctionnelle est immédiatement également et les valeurs du débit respiratoire sont, à de mêmes altitudes, sensiblement égales à celles de la montée ;

6° Les variations du débit enregistrent une diminution inférieure à celles produites, aux mêmes altitudes en montagne ; ce qui contrôle, une fois encore, l'influence de la fatigue sur les variations du débit respiratoire.

Nous croyons utile de rapporter l'observation des variations du débit respiratoire obtenue chez notre camarade Paillier.

Si, au sol, comme en l'air, les chiffres absolus de son débit respiratoire sont toujours supérieurs à ceux obtenus sur nous-mêmes, il s'impose cependant que les variations pour des altitudes équivalentes, sont exactement reproduites, dans le même sens, d'une façon aussi régulière.

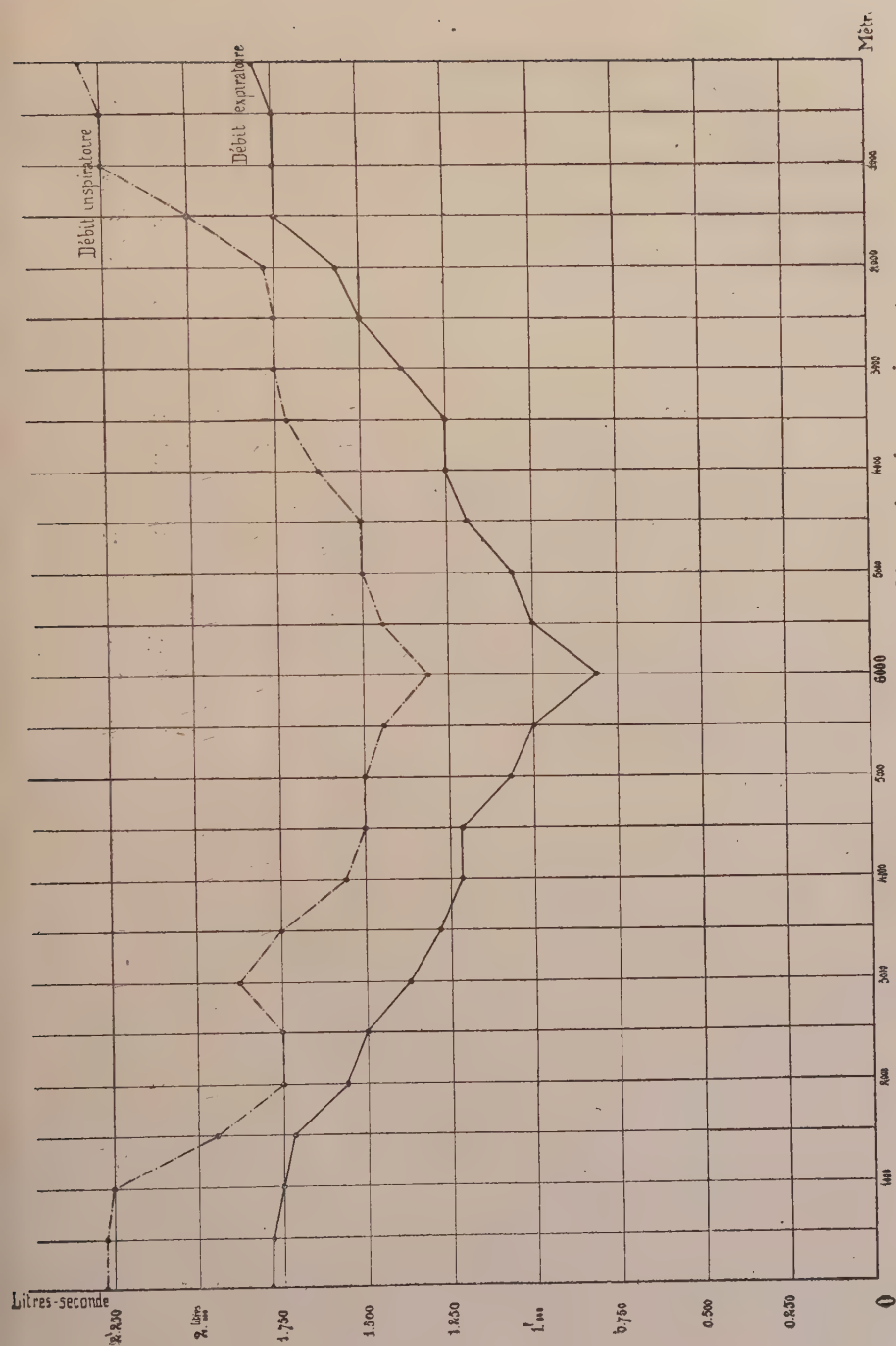
SUJET II

Altitudes	MONTÉE		DESCENTE	
	Débit inspiratoire	Débit expiratoire	Débit inspiratoire	Débit expiratoire
	litre	litres	litres	litres
Sol. . . .	2,300	1,800	2,300	1,800
500 mètres.	2,300	1,800	2,250	1,750
1000 —	2,250	1,750	2,250	1,750
1500 —	1,900	1,700	2,000	1,750
2000 —	1,750	1,600	1,800	1,600
2500 —	1,750	1,500	1,750	1,500
3000 —	1,850	1,400	1,750	1,400
3500 —	1,750	1,300	1,700	1,300
4000 —	1,600	1,200	1,650	1,250
4500 —	1,500	1,200	1,500	1,200
5000 —	1,500	1,100	1,500	1,100
5500 —	1,400	1,000	1,400	1,000
6000 —	1,300	0,800	1,300	0,800

Les valeurs du débit respiratoire sont indiquées en litres-seconde.

Elles sont portées en ordonnées dans le graphique suivant établi d'après ces données.

(Même légende que pour le graphique précédent.



Sujet II. — Schéma des variations du débit respiratoire en avion,

Nous nous dispensons de discuter ces données pour ne pas tomber dans des redites inutiles.

La comparaison des deux graphiques nous conduit à certaines remarques. Chez l'homme sain, le débit expiratoire n'est pas fatalement égal au débit inspiratoire. En tous cas, la valeur du plus faible (en général l'expiratoire), est supérieur ou tout au moins égal à la valeur normale indiquée par Pech (1 litre 700). Mais, si ces valeurs ne sont pas absolument égales, leurs variations sont remarquablement parallèles, et le déficit enregistré sur chaque débit est sensiblement le même.

Nous nous garderons de tout commentaire pour laisser aux chiffres toute leur éloquence :

De 0 à 5.000 mètres sur le sujet I :

le débit inspiratoire tombe de 1 l. 900 à 1 l. 200 ;
déficit : 0 l. 700 ;

le débit expiratoire tombe de 1 l. 650 à 0 l. 900 ;
déficit : 0 l. 750 ;

De 0 à 5.000 mètres pour le sujet II :

le débit inspiratoire tombe de 2 l. 300 à 1 l. 500 ;
déficit : 0 l. 800 ;

le débit expiratoire passe de 1 l. 800 à 1 l. 400 ;
déficit : 0 l. 700 ;

Pour arriver à 6.000 mètres :

débit inspiratoire : 1 l. 300 ; déficit : 1 litre ;

débit expiratoire : 0 l. 800 ; déficit : 1 litre.

Donc, pratiquement :

a) Le déficit fonctionnel est sensiblement le même, quel que soit le sujet envisagé, pour une même altitude ;

b) Les variations des débits inspiratoire et expiratoire sont absolument parallèles aux différentes altitudes.

Chez l'homme sain, également, c'est moins la valeur absolue du débit respiratoire au sol qui doit retenir l'attention du médecin que la diminution, ou normale ou anormale, progressive de ce débit, avec l'augmentation de l'altitude.

La courbe enregistrée par un sujet donne une idée exacte de son adaptation fonctionnelle ou de sa non-adaptation à mesure que l'on s'élève. La conséquence pratique apparaît.

Dans l'examen de candidat au pilotage, une diminution normale du débit respiratoire indique une adaptation fonctionnelle requise.

Dans l'examen de pilote en service, une variation anormale du débit dépiste un déficit fonctionnel de l'appareil pulmonaire, témoignant d'une fatigue organique pouvant indiquer la mise au repos temporaire ou définitive d'un sujet en état d'infériorité physique.

CHAPITRE V

Déductions théoriques et pratiques des variations du débit respiratoire. Mal des altitudes et contrôle des pilotes.

I. — *Le mal des altitudes et le rôle du débit respiratoire.*

Sans entrer dans aucune des nombreuses théories qui tendent à expliquer le mal des altitudes en général, en invoquant plus particulièrement tel facteur prépondérant dans l'apparition du mal, soit en ballon, soit en montagne, soit en avion, résumons brièvement les données classiques que différents auteurs s'accordent à invoquer pour expliquer la pathogénie de ce mal.

Que les variations de la composition de l'air due à sa raréfaction avec l'altitude influence l'organisme, soit par insuffisance de l'oxygène, c'est-à-dire par anoxyhémie (Paul Bert, Jourdanet), soit par manque d'acide carbonique, c'est-à-dire par acapnie (Mosso), il est évident que l'individu se ressent de ces modifications profondes du milieu extérieur. La diminution de la quantité et de la

qualité de l'aliment essentiel entraîne une diminution des oxydations par ralentissement des combustions intra-organiques (Guillemard et Moog). L'amoindrissement de ces combustions fait que la cellule ne peut qu'accomplir incomplètement son travail biologique et ne peut transformer en urée, l'aboutissant normal, ses déchets organiques. Des corps dérivés, de la série azotée, plus toxiques, anormaux, apparaissent alors. Il se crée une auto-intoxication d'autant plus redoutable que s'affirme l'insuffisance rénale (Guillemard et Moog), qui s'ajoute aux déficiences pulmonaires et cardiaques. Car le cœur aussi, avec l'appareil circulatoire, traduit la souffrance. Elle est surtout nette lors des ascensions en avion. Ferry a établi les variations de la pression artérielle au cours du vol. Après une courte augmentation primitive, il se crée ensuite une hypotension marquée. Le pouls accuse une accélération qui persiste après la descente. Qu'il se produise encore des troubles dans les sécrétions internes (Ferry), que l'individu supporte des effets mécaniques divers, il est atteint du mal des altitudes.

Donc, l'organisme souffre à l'altitude par déficience progressive de ses fonctions, la fonction respiratoire semblant une des premières en date et en importance à subir les effets de l'altitude.

Les mesures que nous avons effectuées ont l'intérêt d'apporter une vérification nouvelle de ces faits déjà bien établis. En effet, la diminution marquée et progressive du débit respiratoire maximum avec l'altitude est, comme l'assure Pech, l'indice certain d'une insuffisance fonctionnelle grave. Quand on se rend compte qu'à 6.000 mètres d'altitude, le débit respiratoire normal, qui est de 1 l. 700,

est réduit de 1 litre, on est frappé par la perturbation produite nécessairement par une telle insuffisance fonctionnelle.

Donc, d'une part, l'appauvrissement de l'air inhalé, en oxygène, et ses conséquences physio-pathologiques ; d'autre part, l'insuffisance fonctionnelle vraie, d'autant plus importante que l'altitude atteinte est plus grande, ajoutent leurs deux effets néfastes et accentuent le mal.

Nous la retrouvons cette diminution fonctionnelle, d'autant plus marquée que des facteurs, tels que la fatigue, qui ont une action évidente sur la variation du débit, l'influence davantage. Nous pouvons mieux expliquer encore l'apparition précoce du mal des montagnes à des altitudes peu élevées, le débit décroissant rapidement et fortement lors des escalades et créant bientôt une insuffisance fonctionnelle irrémédiable, avant même que des troubles importants puissent se manifester par l'insuffisance de l'oxygène.

Il paraît donc que la diminution marquée du débit respiratoire joue un grand rôle dans l'apparition du mal des altitudes.

II. — *Contrôle et examen des pilotes. — Epreuve du débit.*

Il nous a été donné de signaler à plusieurs reprises, au cours de ce travail, l'intérêt que peut présenter l'emploi de l'appareil de Pech dans le contrôle médical suivi du pilote, ou l'examen du candidat au pilotage.

Nous ne reviendrons pas sur les données fournies déjà par plusieurs auteurs qui se sont occupés de cette question, et nous ne rappellerons plus les méthodes et les appareils d'un usage habituel dans l'examen spécial du

poumon en particulier. Nous avons déjà transcrit, dans notre introduction, les épreuves recommandées par Cruchet et Moulinier.

Mais nous tenons encore à préciser la nécessité de faire entrer l'appareil de Pech dans la pratique courante de l'observation médicale des « hommes volants ».

Nous avons relaté la valeur primordiale de l'appareil de Pech. Seul parmi les instruments en usage aujourd'hui, le masque manométrique, appareil mensuratur de débit, donne la valeur fonctionnelle exacte de l'appareil pulmonaire. Or, la recherche de l'intégrité de la fonction respiratoire est une nécessité reconnue pour les aviateurs. L'emploi de l'instrument de Pech est d'une simplicité qui en met la technique à la portée de tous.

Le médecin qui, faisant respirer posément son sujet, sait qu'un débit respiratoire normal n'est jamais inférieur à 1 litre 500 à la seconde à l'inspiration comme à l'expiration, possède l'appareil qui lui transcrit fidèlement la valeur physiologique du poumon examiné.

A terre, Pech l'a établi, un homme adulte sain, normalement constitué, a un débit respiratoire maximum aux deux temps de la respiration d'environ 1 litre 700 à la seconde (nous répétons les critiques habituellement formulées : on enregistre, généralement, un débit supérieur à ce chiffre et les débits inspiratoire et expiratoire ne sont pas fatalement égaux). Mais seule l'insuffisance du débit à l'expiration et à l'inspiration est pathologique.

Le candidat à l'aviation doit nécessairement répondre à cette condition : *avoir un débit respiratoire maximum toujours supérieur ou tout au moins égal à 1 litre 500 à la seconde.*

Un pilote, en exercice, doit également avoir un débit se rapprochant sensiblement de cette valeur. Une diminution marquée, inférieure à 1 litre 500, serait certainement l'indice d'une fatigue, soit par surmenage professionnel, soit par mauvais état de santé, dû à une cause pathologique quelconque, ou plus particulièrement à une maladie du poumon. MM. Ferry, Maublanc et Ratié, ont précisé quelles maladies du poumon, et dans quelles mesures leurs lésions étaient compatibles avec le vol en avion. Voici le vœu émis par le Congrès International de Rome, 1919 : Toute affection pulmonaire du parenchyme ou de la plèvre, toute séquelle de blessures de poitrine sont des contre-indications absolues au pilotage. Cependant, le chiffre du débit minima de 1 litre 500 est plus, pour nous, l'expression d'une lésion grave confirmée, que l'indice d'une tendance à l'insuffisance fonctionnelle. M. le professeur Piéry, qui emploie journellement dans ses services cliniques l'appareil de Pech, admet que le débit moyen de l'adulte sain ne descend pas au-dessous de 1 litre 700, et, quand il devient inférieur à cette valeur, il est l'indication sûre d'une lésion déjà grave.

Done, au point de vue pratique, nous pouvons admettre qu'il est préférable *d'exiger de l'aviateur un débit respiratoire maximum d'au moins 1 litre 700 au sol.*

Mais il se peut également qu'un individu, d'apparence normale, répondant au sol aux valeurs physiologiques requises, ne s'adapte qu'imparfaitement à l'altitude. Le médecin doit et peut s'assurer de la réaction organique du sujet aux diverses altitudes et mesurer scientifiquement la possibilité qu'a ce sujet à subir, soit par son adaptation temporaire, soit par son accoutumance progressive, les

effets néfastes causés par le séjour aux points élevés.

Nous savons qu'à 6.000 mètres, le débit respiratoire est réduit de un litre, et le chiffre est énorme. Déjà, à 5.000 mètres, la valeur fonctionnelle du poumon, chez un individu normal, s'est amoindrie d'un tiers.

Qu'à cette dernière altitude, le médecin constate une diminution de moitié, on se rend compte aisément, d'après le déficit déjà marqué de la fonction pulmonaire, du peu de valeur utile de cette fonction et de l'exagération dangereuse des troubles pathologiques qui apparaissent.

Pratiquement, pour qu'un sujet ne souffre pas du vol à l'altitude, son poumon devra fournir les indications minima suivantes, qui démontrent que l'organisme réagit normalement aux différentes altitudes :

A terre, débit inspiratoire et expiratoire minima : 1 litre 500 à la seconde ;

A 3.000 mètres, débit inspiratoire et expiratoire minima : 1 litre 250 à la seconde ;

A 4.000 mètres, débit inspiratoire et expiratoire minima : 1 litre à la seconde ;

A 5.000 mètres, débit inspiratoire et expiratoire minima : 0 litre 750 à la seconde ;

A 6.000 mètres, débit inspiratoire et expiratoire minima : 0 litre 500 à la seconde.

Ces chiffres minima sont tirés des variations enregistrées par nous, en avion, et rapportés à la valeur moyenne de Pech, qui n'admet d'insuffisance vraie qu'en dessous de 1 litre 500 à la seconde, au niveau du sol.

Nous sommes convaincus que des aviateurs présentant de telles variations seraient vite incommodés aux altitudes indiquées. Aussi, nous tenons l'échelle suivante des va-

leurs du débit, comme plus logique, et nous croyons qu'elle peut servir de base d'appréciation.

Altitudes	Valeur des débits inspiratoire et expiratoire minima	
Sol	1 l. 700	— 1 l. 500
3.000 mètres	1 l. 300	— 1 l. 200
4.000 mètres	1 l. 100	— 1 l.
5.000 mètres	1 l.	— 0 l. 900
6.000 mètres	0 l. 800	— 0 l. 750

Il serait bon d'exiger de l'aviateur que son poumon réponde aux valeurs fonctionnelles minima indiquées, pour qu'il n'ait pas à souffrir plus particulièrement des vols à ces altitudes.

Il nous paraît intéressant, en présence d'un tel déficit fonctionnel qui pourrait laisser croire à des dangers énormes qu'encourt fatalement l'aviateur, de relater la grande résistance de l'organisme pour parer aux nécessités de l'ascension. Sans contester nullement l'existence de troubles physiologiques marqués, soit au cours d'un seul vol, soit à la suite d'une série de vols, surtout à des altitudes élevées, il est relativement rare que des accidents se produisent chez des sujets sains au cours de vols de courte durée (2 ou 3 heures) à des altitudes moyennes. Personnellement, nous n'avons jamais souffert au cours de nos ascensions ou à leur suite. Notre camarade Paillier, qui partage notre avis, n'eut à enregistrer qu'un seul incident. Lors d'une ascension à 6.800 mètres, la ponction veineuse

étant entourée de difficultés que les médecins ne rencontrent heureusement pas à la clinique, l'opérateur dut, à trois reprises, sur chaque bras de notre camarade, enfoncer l'aiguille. A la septième piqure, faite à la veine radiale, au-dessus du poignet, la douleur provoquée amorce une syncope, d'ailleurs peu grave. Donc, accident dû à une cause étrangère au vol, évidemment sur un sujet en état de moindre résistance du fait du séjour à cette altitude.

Mais, nous le répétons, des accidents, à cette altitude, chez des sujets sains, restent une rareté.

CONCLUSIONS

Les recherches des auteurs ont établi jusqu'ici, à l'aide de la méthode spirométrique, les variations du débit respiratoire avec l'altitude, soit en montagne, soit en ballon.

C'est à l'aide d'une méthode et d'un instrument nouveaux, le masque manométrique de Pech (avec plus de facilité et de précision, car il mesure le vrai débit respiratoire, c'est-à-dire le volume d'air inspiré en un temps donné (litres-seconde), ce que donnent qu'imparfaitement les spiromètres), que nous avons essayés :

a) De vérifier les résultats obtenus par les auteurs dans les ascensions en montagne, au cours de 5 ascensions personnelles ;

b) De fixer (ce qui n'avait pas été fait jusqu'alors), le débit respiratoire dans les ascensions en avion. Nous avons relaté ces variations au cours d'une série importante de vols effectués l'été dernier, nous élevant jusqu'à l'altitude de 6.000 mètres.

Les résultats obtenus par nous ont été les suivants :

I. — Soit en montagne, soit en avion, le débit respiratoire maximum, c'est-à-dire l'indice de la valeur fonc-

tionnelle du poumon, diminue à mesure que l'altitude augmente ; il s'accroît, au contraire, quand l'altitude baisse. La diminution ou l'augmentation porte à la fois sur le débit respiratoire et le débit expiratoire qui décroissent ou croissent parallèlement.

II. — Dans les différents modes d'ascensions, les variations du débit respiratoire dans les deux temps de la respiration, se produisent immédiatement à la montée et à la descente, quelle que soit la rapidité ou la lenteur de l'une ou de l'autre. Pour une même altitude, dans le genre d'ascension envisagé, les valeurs des débits inspiratoire et expiratoire se superposent à la montée et à la descente, à la condition d'effectuer les mesures (spécialement en montagne), quand le calme respiratoire s'est établi.

III. — L'effort, en effet, a une action très marquée sur les variations du débit respiratoire, qu'il augmente, d'autant plus que son intensité est plus élevée. Cette augmentation du débit due à l'effort, est surtout sensible dans les escalades en montagne. Elle va jusqu'à doubler, lors d'un travail musculaire soutenu, la valeur réelle du débit respiratoire à une altitude moyenne (2.000-2.500 mètres).

IV. — La fatigue, prise dans son sens le plus large, a une action manifeste sur la diminution du débit qui décroît d'autant plus vite que le travail imposé est plus considérable. Le débit respiratoire étant influencé en raison directe de l'importance de ce facteur, il s'en suit que la diminution est plus rapide et plus importante dans les escalades en montagne où la fatigue est grande, que dans

les ascensions en avion, où pour être plutôt d'ordre nerveux que musculaire, elle est cependant moins épuisante ; que cette diminution est beaucoup moins sensible dans les ascensions en ballon que dans les ascensions en avion et *a fortiori* dans les escalades en montagne, l'élément fatigue étant réduit à un minimum.

V. — Il existe des variations individuelles dans cette diminution progressive du débit respiratoire au cours des ascensions, soit en avion, soit surtout en montagne et qui paraissent dûes soit à la conformation organique du sujet, soit à son entraînement ou à son adaptation fonctionnelle.

Ces variations d'ailleurs légères, pour les adultes sains et normaux, n'altèrent en rien le sens des variations du débit observées.

VI. — Les variations anormales, en tant que diminution exagérée, du débit respiratoire, indiquent au médecin, un déficit fonctionnel symptomatique, soit d'une fatigue passagère, soit d'une lésion pulmonaire pathologique incompatible temporairement ou définitivement à l'aptitude à l'ascension, à certaines ou à toutes les altitudes, car d'après M. le Professeur Pech, la diminution marquée du débit respiratoire maximum est l'indice d'une insuffisance fonctionnelle grave.

VII. — La diminution du débit respiratoire avec, d'une part, sa progression presque exactement parallèle à l'altitude, et d'autre part, son accentuation au prorata de l'effort fourni (maximum dans les escalades en montagne), est de nature à faire penser qu'elle constitue un élément important dans la pathogénie du mal des altitudes.

VIII. — Le masque manométrique de Pech, avec l'évaluation fonctionnelle qu'il permet, nous paraît une épreuve à introduire dès maintenant dans l'examen physique des candidats à l'aviation, ainsi que dans l'appréciation de l'état de fatigue des aviateurs après des vols prolongés.

Pour un sujet sain, de débit respiratoire maximum de 1 litre 700 à la seconde, les variations normales, en avion, sont :

Au sol	1 l. 700
3.000 mètres	1 l. 300
4.000 mètres	1 l. 100
5.000 mètres	1 l. »
6.000 mètres	0 l. 800

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,

F. ARLOING.

Vu :

LE DOYEN,

JEAN LEPINE.

Vu et permis d'imprimer :

LYON, le 1^{er} décembre 1921.

LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ.

P. JOUBIN.

BIBLIOGRAPHIE

- BAYEUX.— Le mal des altitudes (*Académie des Sciences*, 1919).
- L'insuffisance respiratoire aux très hautes altitudes et sa correction par les injections sous-cutanées d'oxygène (*Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 31 janvier 1921).
- CASTEX. — Le mal des aviateurs (*thèse de Lyon*, 1921).
- CRUCHET et MOULINIER. — Mal des Aviateurs (*Comptes-rendus Académie des Sciences*, 1911).
- Le mal des aviateurs (*Baillière*, 1920).
- DESFOSSÉS. — Le masque manométrique de Pech en éducation physique (*Revue Médicale*, 2 février 1921).
- FERRY. — Aptitude à l'aviation (*Thèse de Nancy*, *Baillière*, 1917).
- Mal des altitudes et mal des aviateurs (*Annales de Médecine*, 1919).
- Influence du vol en avion sur la santé de l'aviateur, Berger-Levrault, 1920.
- GUILLEMARD et MOOG. — Ventilation pulmonaire; échanges gazeux aux Mont-Blanc (*Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 1907, p. 238).
- G. KÜSS. — Les combustions organiques mesurées par les échanges respiratoires ne sont pas modifiées par un séjour prolongé à l'altitude de 4.350 mètres, (*Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 1905, p. 273).

MARTIN-SISTERON. — Fatigue et lésions organiques chez les aviateurs du front (*Paris Médical*, 26 juillet 1919).

MAUBLANC et RATIE. — Guide pratique de l'examen médical des aviateurs (*Baillière*, 1920).

PECH J.-L. — Masque manométrique (*Thèse de Montpellier*, 23 mars 1918).

— Le masque manométrique (*Société des Sciences médicales et biologiques de Montpellier*, 1920).

La notion du débit respiratoire maximum. Mesure pratique au moyen du masque manométrique (*Presse médicale*, 2 février 1921).

SOUBIES. — Physiologie de l'aéronaute (*Thèse de Paris*, 1907).

VALLOT J. — Expériences sur la respiration au Mont-Blanc. (*Annales de l'Observatoire météorologique du Mont-Blanc*, 1905).

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos.	7
Introduction	9
Débit respiratoire et sa mesure.	12
Débit respiratoire en ballon.	18
Débit respiratoire en montagne	22
Débit respiratoire en avion	33
Déductions théoriques et pratiques.	46
Conclusions	54
Bibliographie.	58
